棕榈油替代大豆油对吉富罗非鱼幼鱼生长性能、肌肉组成和血清生化指标的影响

文远红　米海峰*　张　璐*　刘辉芬　王用黎　刘雪兵　薛春雨　邓志霆

（通威股份有限公司水产研究所，成都 610039）

摘　要：本试验旨在研究棕榈油替代大豆油对吉富罗非鱼幼鱼生长性能、肌肉组成和血清生化指标的影响。选用初始体重为 8.80 g 的吉富罗非鱼幼鱼 600 尾，随机分为 5 组，每组 3 个重复，每重复 40 尾。5 组试验鱼分别投喂以棕榈油替代基础饲料中 0（对照）、25%、50%、75%、100%大豆油的 5 种等氮（31.60%）等脂（9.30%）饲料，分别记为 G0、G25、G50、G75、G100。试验期为 56 d。结果表明：1）棕榈油替代不同比例的大豆油对罗非鱼幼鱼的终末体重、增重率、特定生长率、饲料系数和存活率均无显著影响（$P>0.05$）。2）与 G0 组相比，各棕榈油组（G25、G50、G75、G100 组）罗非鱼幼鱼的肥满度、脏体比、肝体比以及肌肉水分、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分含量无显著变化（$P>0.05$）；G50 组肌肉粗脂肪含量显著高于 G100 组（$P<0.05$）。3）棕榈油替代不同比例的大豆油对罗非鱼幼鱼血清胆固醇、甘油三酯、低密度脂蛋白胆固醇和总蛋白含量的影响不显著（$P>0.05$）。与 G0 组相比，G50、G100 组血清高密度脂蛋白胆固醇含量，G25、G50 组血清谷丙转氨酶活性及 G50、G75 组血清谷草转氨酶活性显著降低（$P<0.05$）。由此得出，以生长性能为评价指标，吉富罗非鱼幼鱼饲料中的大豆油可全部被棕榈油替代；棕榈油替代大豆油比例超过 50%时，显著影响吉富罗非鱼幼鱼肌肉粗脂肪含量、部分血清生化指标。

关键词：吉富罗非鱼；大豆油；棕榈油；生长性能；肌肉组成；血清生化指标

中图分类号：S963　　　　文献标识码：A　　　　文章编号：

大豆油是水产商品饲料，是淡水鱼饲料中常用的优质脂肪源。随着水产养殖业和饲料工业的

收稿日期：2015-08-09

基金项目：四川省战略新兴产品计划项目（2014GZX0103）

作者简介：文远红（1986—），男，四川绵阳人，硕士，从事水产动物营养与饲料研究与应用工作。E-mail：wenhong0726@126.com

*通信作者：米海峰，硕士生导师，E-mail：mihf@tongwei.com；张　璐，高级工程师，硕士生导师，E-mail：zhangl21@tongwei.com

快速发展，大豆油消耗量日益剧增，价格大幅升高，其在水产饲料中的使用量逐渐受到了限制[1]。如何用更加廉价、优质的油脂替代大豆油已成为了水产饲料工业研究的热点之一。棕榈油（palm oil）是世界油脂市场重要的组成部分，占世界油脂总产量的比例超过 30%，20 世纪 70 年代以来棕榈油产量是各植物油脂中增长最快的，2012 年世界棕榈油产量已超过 6 200 万 t[2]。棕榈油主要含棕榈酸、油酸和亚油酸，饱和脂肪酸含量约为 50%、单不饱和脂肪酸含量约为 40%、多不饱和脂肪酸含量约为 10%，其中单不饱和脂肪酸主要为油酸，多不饱和脂肪酸主要为亚油酸，并富含维生素 E、γ-生育三烯、α-胡萝卜素、β-胡萝卜素、叶黄素等，是鱼油、大豆油的适宜替代源之一[3]。研究发现，棕榈油替代一定比例鱼油对花鲈（*Lateolabrax maculatus*）[4]、非洲鲶鱼（*Clarias gariepinus*）[5]、大西洋鲑（*Salmo salar* L.）[6]、虹鳟（*Oncorhynchus mykiss*）[7]、欧洲鲈（*Dicentrarhus labrax* L.）[8]的生长性能和饲料利用率无显著影响。程民杰[9]报道，半滑舌鳎（*Cynoglossus semilaevis*）饲料油脂含量为 10%时，棕榈油替代饲料中 32%~60%的鱼油有利于半滑舌鳎的生长和机体健康，可降低饲料系数和提高肌肉营养组成。

罗非鱼（*Oreochromis niloticus*）属亚热带鱼类，吉富罗非鱼（genetically improved farmed tilapia，GIFT）是近年经过遗传育种选育后的优良品系，其生长速度快，肉质丰满、细嫩，出肉率高，是华南地区主要的养殖品种之一，也是我国出口创汇重要水产养殖品种之一，具有重要的市场经济价值。近年来，众学者研究了罗非鱼营养需求量、健康免疫等，但罗非鱼饲料中大豆油替代源的研究尚未见报道。因此，本文研究了不同比例棕榈油替代大豆油对吉富罗非鱼幼鱼生长性能、肌肉营养组成和血清生化指标的影响，以期为棕榈油在罗非鱼饲料中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 棕榈油

试验用棕榈油购于益海（广州）粮油工业有限公司，为印度尼西亚棕榈油，熔点为 24 ℃。使用气质联用仪（美国 Agilent 6890N-5975）进行脂肪酸组成分析（分析柱：Agilent DB-23（30 mm×0.25 mm×0.25 μm），色谱和质谱条件参照刘穗华等[10]的方法），试验用棕榈油的 C14:0、C16:0、

C18:0、C18:1、C18:2、C18:3、C20:0、C20:1 含量分别为 0.94%、38.45%、3.78%、44.34%、11.22%、0.22%、0.35%、0.19%，以上测定结果为占总脂肪酸的百分比。

1.2　试验饲料

以豆粕、菜籽粕、玉米蛋白粉为主要蛋白质源，大豆油为主要脂肪源，高筋面粉为主要碳水化合物源配制基础饲料（G0，作为对照），用棕榈油等量替代基础饲料中 25%(G25)、50%(G50)、75%(G75)、100%(G100)的大豆油，配制 4 种替代饲料。5 种试验饲料等氮（31.60%）等脂（9.30%），其组成及营养水平见表 1，脂肪酸组成见表 2。试验饲料各原料混合均匀后，用 BUHLER（瑞士）-125 双螺杆挤压膨化制粒机制成直径为 1.50 mm 的膨化饲料，室温保存备用。

表 1　试验饲料组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets　（air-dry basis）　%

项目 Items	饲料 Diets				
	G0	G25	G50	G75	G100
原料 Ingredients					
高筋面粉 Strong flour	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
米糠 Rice bran	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
菜籽粕 Rapeseed meal	21.50	21.50	21.50	21.50	21.50
豆粕 Soybean meal	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00
豆油 Soybean oil	4.00	3.00	2.00	1.00	
棕榈油 Palm oil		1.00	2.00	3.00	4.00
一水合磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
预混料 Premix[1)]	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

营养水平 Nutrient levels[2)]					
水分 Moisture	11.12	11.37	11.45	11.52	11.05
粗蛋白质 CP	31.73	31.58	31.82	31.85	31.78
粗脂肪 EE	9.54	9.28	9.23	9.27	9.71
粗灰分 Ash	7.31	7.15	7.22	7.18	7.20
粗纤维 CF	5.66	5.81	6.10	5.97	5.94
钙 Ca	0.64	0.66	0.65	0.66	0.65
总磷 TP	1.16	1.14	1.16	1.13	1.17

[1)]预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 200 000 IU，VK_3 10 mg，VE 150 mg，VB_2 100 mg，VB_6 30 mg，烟酸 nicotinic acid 200 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 100 mg，*L*-抗坏血酸-2-磷酸酯 *L*-ascorbate-2-phosphate 200 mg，Fe (as ferrous sulfate) 5 000~15 000 mg，Cu (as copper sulfate) 100~660 mg，Mn (as manganese sulfate) 1 200~2 800 mg，Zn (as zinc sulfate) 2 200~4 900 mg。

[2)] 营养水平为实测值。Nutrient levels were measured values.

表 2 试验饲料脂肪酸组成（风干基础，占总脂肪酸的百分比）

Table 2 Fatty acid composition of experimental diets （air-dry basis, percentage of total fatty acids） %

项目 Items	饲料 Diets				
	G0	G25	G50	G75	G100
C14:0	0.74	0.60	0.48	0.56	0.90
C16:0	10.61	9.95	12.02	11.26	11.30
C16:1	7.59	8.03	8.5	9.07	13.72
C18:0	1.00	1.03	0.86	0.91	0.82
C18:1	29.66	30.27	32.68	33.20	35.49

C18:2	45.96	45.25	41.73	41.46	35.46
C18:3	4.44	4.25	3.73	3.54	2.31

1.3 试验鱼与饲养管理

试验在广东省农业科学院广州国家农业科技园区的室内循环水养殖系统中进行。试验鱼购于佛山市南海通威水产科技有限公司，购回后暂养于广州国家农业科技园区的室外网箱（3.0 m×3.0 m×3.0 m）中，每天用广东通威 151 高档鱼种膨化配合饲料饱食投喂 2 次（08:30、17:00），驯养 2 周。试验用养殖系统为室内循环水养殖系统，由 24 个直径 80 cm、高 70 cm 的圆柱形玻璃纤维桶组成，容水量约为 300 L。试验开始时，挑选大小均匀、体质健壮、体表无外伤，平均体重为 8.80 g 吉富罗非鱼幼鱼 600 尾，分配于 15 个养殖桶中，每桶放养 40 尾。将 15 个养殖桶随机分为 5 个组，每组 3 个重复，分别投喂对照组饲料和 4 种替代饲料，并按照对应饲料编号记为 G0、G25、G50、G75、G100 组。每日于 08:30、17:00 投饲，投饲量为体重的 2%~3%，并根据摄食和生长情况调节。每天记录投饲量、水温和死亡情况。试验期间，24 h 不间断曝气，溶氧浓度＞8.0 mg/L，自然光源，平均水温 28.8 ℃，氨氮浓度＜0.06 mg/L，亚硝酸盐浓度＜0.05 mg/L，pH 7.6~8.0。试验期为 56 d。

1.4 样品采集与指标分析

试验开始时，选取体重与试验鱼初始体重相近的鱼 20 尾，-20 ℃冰箱中保存备用。养殖试验结束时，停食 24 h，每桶幼鱼分别称重和统计数目。每桶随机取 5 尾鱼，尾静脉取血混合后于 4 ℃ 4 000 r/min 离心 10 min 制备血清样品，-80 ℃冰箱保存备用，用于血清生化指标测定。每桶随机取 5 尾鱼，用于形体指标测定。每桶随机取 5 尾鱼，取同侧背肌混合后，-20 ℃冰箱保存备用，用于肌肉常规成分测定。

饲料、肌肉样品中水分含量采用 105 ℃常压干燥法（GB/T 6435-1986）测定，粗蛋白质含量采用凯氏定氮法（GB/T 6432-1994）测定，粗脂肪含量采用乙醚抽提法（GB/T 6432-1994）测定，粗灰分含量采用 550 ℃灼烧法（GB/T 6438-1992）测定，钙含量采用乙二胺四乙酸（EDTA）滴

定法（GB/T 6436-2002）测定，总磷含量采用钼黄比色法（GB/T 6437-2002）测定，饲料粗纤维含量采用酸碱消煮过滤法（GB/T 5009.10-2002）测定。

血清胆固醇（cholesterol,CHOL）、甘油三酯（triglyceride,TG）、高密度脂蛋白胆固醇（high density lipoprotein cholesterol,HDL-C）、低密度脂蛋白胆固醇（low density lipoprotein cholesterol,LDL-C）和总蛋白（total protein,TP）含量及谷丙转氨酶（glutamic-pyruvic transaminase,ALT）、谷草转氨酶（glutamic-oxalacetic transaminase,AST）活性采用罗氏全自动生化分析仪（MODULAR P800，瑞士）测定。

1.5 指标计算

增重率（weight gain rate,WGR,%）=100×（终末体重＋死亡鱼体重－初始体重）／初始体重；

特定生长率（specific growth rate,SGR,%/d）=100×（ln 终末体重－ln 初始体重）／饲养天数；

摄食量（feed intake,FI,g/尾）=投饲总量／[（初始尾数+终末尾数）／2]；

饲料系数（feed conversion ratio,FCR）=投饲总量／（终末体重＋死亡鱼体重－初始体重）；

存活率（survival rate,SR,%）=100×终末尾数／初始尾数；

肥满度（condition factor,CF,g/cm^3）= 100×体重／体长^3；

脏体比（viscerosomtic index,VSI,%）=100×内脏团重／体重；

肝体比（hepatosomatic index,HSI,%）=100×肝脏重／体重。

1.6 数据统计与分析

试验数据用平均值±标准差表示，采用 SPSS 19.0 软件进行统计分析。先对试验数据开展方差齐性检验，如果满足方差齐性条件则进行单因素方差分析（one-way ANOVA），差异显著再用 Tukey’s 检验方法进行多重比较；如果方差齐性条件不满足，则用 Dunnett’s T3 检验法进行多重比较。$P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 棕榈油替代大豆油对吉富罗非鱼幼鱼生长性能的影响

由表 3 可知，棕榈油替代不同比例的大豆油对吉富罗非鱼幼鱼的终末体重、WGR、SGR、FI、FCR、SR 均无显著影响（P＞0.05）。各组罗非鱼幼鱼 SR 均在 96.60%以上，其中 G0、G75 组罗非鱼幼鱼的终末体重、WGR、SGR 最高，G25 组罗非鱼幼鱼的 FCR 最低。

表 3　棕榈油替代大豆油对吉富罗非鱼幼鱼生长性能的影响

Table 3　Effects of soybean oil replacement by palm oil on growth performance of juvenile GIFT

项目 Items	组别 Groups				
	G0	G25	G50	G75	G100
终末体重 FBW/g	66.44±0.63	66.18±2.88	64.43±0.80	66.81±1.36	65.40±0.86
增重率 WGR/%	648.06±8.13	639.91±21.76	632.60±8.23	645.15±20.35	632.79±1.51
特定生长率 SGR/(%/d)	3.61±0.02	3.60±0.08	3.56±0.02	3.62±0.04	3.58±0.02
摄食量 FI/(g/尾)	57.70±0.85	57.93±0.72	57.20±0.01	58.17±0.41	57.92±0.73
饲料系数 FCR	1.00±0.02	0.98±0.09	1.03±0.01	1.01±0.04	1.03±0.00
存活率 SR/%	98.33±2.89	97.50±2.50	100.00±0.00	96.67±1.44	97.50±2.50

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P＜0.05），相同或无字母表示差异不显著（P＞0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P＜0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P＞0.05). The same as below.

2.2　棕榈油替代大豆油对吉富罗非鱼幼鱼形体指标的影响

由表 4 可知，棕榈油替代不同比例的大豆油对罗非鱼幼鱼 CF、VSI 和 HSI 的影响均不显著（P＞0.05）。

表 4　棕榈油替代大豆油对吉富罗非鱼幼鱼形体指标的影响

Table 4　Effects of soybean oil replacement by palm oil on physique indexes of juvenile GIFT

项目 Items	组别 Groups				
	G0	G25	G50	G75	G100
肥满度 CF/(g/cm^3)	3.74±0.17	3.78±0.40	3.52±0.12	3.51±0.05	3.56±0.07
脏体比 VSI/%	9.76±0.19	9.21±0.86	10.54±0.60	10.07±0.34	9.13±0.53
肝体比 HSI/%	1.24±0.16	1.29±0.18	1.47±0.17	1.18±0.15	1.34±0.29

2.3 棕榈油替代大豆油对吉富罗非鱼幼鱼肌肉常规成分的影响

由表 5 可知，各组罗非鱼幼鱼肌肉水分、粗蛋白质、粗灰分含量无显著差异（P>0.05）。各替代组罗非鱼幼鱼肌肉粗脂肪含量与 G0 组相比无显著变化（P>0.05），但 G50 组罗非鱼幼鱼肌肉粗脂肪含量显著高于 G100 组（P<0.05）。

表 5 棕榈油替代大豆油对吉富罗非鱼幼鱼肌肉常规成分的影响（干物质基础）

Table 5 Effects of soybean oil replacement by palm oil on muscle nutritional composition of juvenile GIFT (DM basis) %

项目 Items	组别 Groups				
	G0	G25	G50	G75	G100
水分 Moisture	76.96±1.45	75.58±0.65	77.1±0.22	76.27±0.53	77.29±0.24
粗蛋白质 CP	87.93±0.45	87.48±0.51	85.27±0.78	87.09±0.86	88.18±2.05
粗脂肪 EE	5.37±1.03^{ab}	4.73±0.07^{ab}	6.53±1.09^{b}	5.48±1.12^{ab}	3.99±0.06^{a}
粗灰分 Ash	4.68±0.86	4.93±0.42	4.74±0.31	4.05±0.47	4.72±0.89

2.3 棕榈油替代大豆油对吉富罗非鱼幼鱼血清生化指标的影响

由表 6 可知，棕榈油替代不同比例的大豆油对罗非鱼幼鱼血清 CHOL、TG、LDL-C、TP 含量的影响不显著（P>0.05）。与 G0 组相比，G50、G100 组血清 HDL-C 含量显著降低（P<0.05）；此外，G75 组血清 HDL-C 含量显著高于 G50、G100 组（P<0.05）。与 G0 组相比，G25、G50 组血清 ALT 以及 G50、G75 组 AST 活性显著降低（P<0.05），其他替代组无显著差异（P>0.05）。

表 6　棕榈油替代大豆油对吉富罗非鱼幼鱼血清生化指标的影响

Table 6　Effects of soybean oil replacement by palm oil on serum biochemical indexes of juvenile GIFT

项目 Items	组别 Groups				
	G0	G25	G50	G75	G100
胆固醇 CHOL/(mmol/L)	3.10±0.07	3.24±0.33	3.00±0.33	3.33±0.22	2.82±0.16
甘油三酯 TG/(mmol/L)	0.98±0.11	0.97±0.07	1.00±0.08	1.04±0.10	0.94±0.02
低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C/(mmol/L)	0.30±0.02	0.27±0.02	0.25±0.04	0.27±0.02	0.27±0.03
高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C/(mmol/L)	2.30±0.03^{c}	2.23±0.22^{abc}	1.75±0.16^{ab}	2.45±0.28^{c}	1.69±0.13^{a}
总蛋白 TP/(g/L)	28.40±0.00	28.93±1.35	27.40±2.12	28.30±1.30	24.90±1.30
谷丙转氨酶 ALT/(U/mL)	5.50±0.71^{c}	4.00±0.00^{ab}	3.33±0.58^{a}	4.67±0.58^{abc}	5.00±0.00^{bc}
谷草转氨酶 AST/(U/mL)	22.50±2.12^{b}	22.33±2.31^{b}	11.33±2.08^{a}	11.50±0.71^{a}	17.00±1.41^{ab}

3　讨　论

3.1　棕榈油替代大豆油对吉富罗非鱼幼鱼生长性能的影响

本试验结果表明，棕榈油替代不同比例的大豆油对吉富罗非鱼幼鱼的 WGR、FCR 和 SR 的影响不显著，其中 G0、G75 组的 WGR、SGR 最高，G25 组的 FCR 最低。这与棕榈油替代不同比例的鱼油在鲶鱼[5]、大西洋鲑[6]、虹鳟[7]上的研究结果类似。此外，宋益贞等[11]报道，在基础饲料中分别添加 4.00%的鸡油、鱼油、棕榈油、花生油、磷脂油，饲喂初始体重为 11.19 g 的吉富罗非鱼 60 d，结果显示，棕榈油组罗非鱼的 SGR 显著低于鸡油、花生油和磷脂油组，与鱼油组无显著差异。程民杰[9]研究指出，当半滑舌鳎饲料油脂含量为 10.00%时，棕榈油替代饲料中 60%鱼油时半滑舌鳎的 WGR 显著高于全鱼油组。Bahurmiz 等[12]用毛棕榈油、棕榈油酸、精炼棕榈油分别完全替代饲料中 8.00%的鱼油，养殖初始体重为 31.24 g 的红罗非鱼（*Oreochromis* sp.）20 周后发现，

毛棕榈油、棕榈油酸、精炼棕榈油完全替代鱼油对红罗非鱼的终末体重、SGR、饲料效率、SR、形体指标、血细胞容积等的影响均不显著。Lim 等[13]研究指出，非洲鲶鱼饲料中粗炼或精炼棕榈油为 8.00%时，可显著提高鲶鱼的生长性能、蛋白质沉积率和肌肉中维生素 E 含量。棕榈油富含维生素 E 等天然抗氧化剂[3]，随棕榈油添加比例的增加，饲料中维生素 E 含量逐渐升高。本试验中各替代组罗非鱼幼鱼的 WGR、FCR 和 SR 与对照组（G0 组）相比无显著差异，G75 组罗非鱼 FBW、WGR、SGR 高于其他替代组，这可能与饲料中维生素 E 含量随替代比例增加而增加有关。李志华等[14]在饲料中添加 0、25、250、2 500 mg/g 维生素 E 饲喂初始体重为 3.25 g 的罗非鱼 56 d，研究发现添加 250 mg/kg 组罗非鱼的 WGR、SGR 显著高于其他组；并指出饲料中适量维生素 E 可提高罗非鱼生长性能、增强机体抗氧化能力，但过量的维生素 E 则会抑制罗非鱼生长。Gao 等[15]报道，随花鲈饲料中棕榈油替代鱼油比例的增加，饲料中维生素 E 含量逐渐增加，棕榈油替代饲料中 60%的鱼油对花鲈的终末体重、WGR、SGR、FCR 等无显著影响。Ng 等[16]报道，在粗脂肪含量为 10%的非洲鲶鱼饲料中，用棕榈油酸分别替代 0、25%、50%、75%、100%的鱼油，随替代比例的增加，饲料中维生素 E 含量由 78.68 μg/g 增加至 304.81 μg/g；棕榈油酸替代饲料中 25%鱼油时，非洲鲶鱼的终末体重、WGR 显著高于全鱼油组。研究发现，水产动物生长性能主要受油脂脂肪酸组成的影响，不同鱼类对同一油脂的消化利用率也不同。雍文岳[17]报道，罗非鱼对亚油酸需求量高于其他脂肪酸，添加植物油更有利于罗非鱼生长。本试验中大豆油和棕榈油均为植物油，随棕榈油替代大豆油比例的增加，饲料中 C18:3、C18:2 含量逐渐降低（C18:3 由 4.44%降至 2.31%，C18:2 由 45.96%降至 35.46%）；生长结果显示各替代组罗非鱼幼鱼生长性能与对照组相比无显著差异。这说明棕榈油完全替代饲料中大豆油后，饲料中 C18:2 和 C18:3 含量仍能满足罗非鱼的生长需要。

3.2 棕榈油替代大豆油对吉富罗非鱼幼鱼形体指标和肌肉常规成分的影响

本试验结果显示，棕榈油替代不同比例的大豆油对吉富罗非鱼幼鱼 CF、VSI、HSI 的影响均不显著，这说明棕榈油替代大豆油在形态学上不会对吉富罗非鱼幼鱼产生显著影响。各替代组罗

非鱼肌肉水分、粗蛋白质、粗灰分含量与对照组相比差异不显著，这说明棕榈油替代大豆油不影响吉富罗非鱼幼鱼肌肉中蛋白质的沉积。本试验结果显示，G100 组罗非鱼肌肉粗脂肪含量显著低于 G50 组。这可能是随着棕榈油替代大豆油比例的增加，饲料中 C18:2 和 C18:3 含量逐渐降低，导致 C18:2 和 C18:3 比例失衡（G50 组 C18:2：C18:3=11.19:1，G100 组 C18:2:C18:3=15.35:1），进而影响了脂肪在罗非鱼肌肉中的沉积。曹俊明等[18]报道，随着饲料中家蝇蛆粉替代鱼粉比例的增加，饲料中多不饱和脂肪酸缺乏导致了凡纳滨对虾（*Litopenaeus vannamei*）肌肉中粗脂肪含量下降。张立坚等[19]报道，罗非鱼肌肉脂肪酸主要为 C16:0、C18:1、C18:2、C22:6。本试验中，G50 组饲料中 C16:0 含量（12.02%）高于对照组和其他替代组，这可能导致了 G50 组吉富罗非鱼幼鱼肌肉粗脂肪含量高于其他替代组。

3.3　棕榈油替代大豆油对吉富罗非鱼幼鱼血清生化指标的影响

HDL-C 是一种血脂蛋白，可将肝脏外的 CHOL、TG 等物质运输到肝脏分解，防止 CHOL 在血管壁的沉积。本试验结果显示，G50、G100 组吉富罗非鱼幼鱼血清 HDL-C 含量显著低于对照组。这与程民杰[9]的研究结果不同，其研究指出棕榈油替代饲料中 80%鱼油时可显著提高半滑舌鳎血清 HDL-C 含量，在一定程度上有利于机体脂肪代谢。出现这种差异，可能与试验鱼、棕榈油替代脂肪源不同有关。Torstesen 等[20]研究发现，棕榈油全部替代饲料中鱼油时，对大西洋鲑鱼血浆中 CHOL、TG、极低密度脂蛋白胆固醇（VLDL-C）、LDL-C 和 HDL-C 含量的影响不显著。ALT、AST 主要存在于肝脏细胞中，是肝脏功能正常与否的标志，正常情况下鱼类血液中活性较低且相对稳定，当肝脏受损时，会使血液中这 2 种酶活性显著升高。本试验结果显示，随着棕榈油替代大豆油比例的增加，吉富罗非鱼幼鱼血清 ALT、AST 活性呈现先降低后升高趋势，其中 G25、G50 组 ALT 以及 G50、G75 组 AST 活性显著降低，这表明在此替代比例下，棕榈油在一定程度上可改善吉富罗非鱼幼鱼肝脏的健康状况。这可能与随饲料中棕榈油替代大豆油比例的增加，饲料中维生素 E、β-胡萝卜素等天然抗氧化剂含量逐渐升高，饲料抗氧化能力逐渐增强有关。研究发现，棕榈油[13]、棕榈油酸[16]替代非洲鲶鱼饲料中鱼油，可提高饲料中维生素 E 含量，显著提高非洲鲶

鱼肝脏和肌肉的抗氧能力，保护肝脏健康。Gao 等[15]用棕榈油分别替代饲料中 0、40%、60%、100%的氧化鱼油，饲料中维生素 E 含量由 0 mg/kg 增加至 246 mg/kg；饲喂花鲈 50 d 后结果表明，棕榈油替代氧化鱼油可降低花鲈机体脂质过氧化反应，提高机体抗氧化能力。韩雨哲等[4]指出，花鲈饲料中添加一定比例的棕榈油可缓解氧化鱼油对花鲈肝脏的损伤作用。

4 结 论

① 棕榈油等比例替代 25%~100%的大豆油对吉富罗非鱼幼鱼的生长性能、形体指标、肌肉常规成分（粗脂肪含量除外）无显著影响。

② 棕榈油等比例替代 50%大豆油显著影响吉富罗非鱼幼鱼血清 HDL-C 含量和 ALT、AST 活性。

③ 以吉富罗非鱼幼鱼生长性能为评价指标，在粗蛋白质、粗脂肪含量分别为 31.60%、9.30%的饲料中，当大豆油含量为 4.00%时，棕榈油可全部替代饲料中的大豆油。

参考文献：

[1] 胡水鑫,王骥腾,韩涛,等.水产饲料脂肪来源及前景分析[J].安徽农学通报,2012,18(9):183–185.

[2] 韩雨哲,刘芳,姜柏桥,等.棕榈油在水产饲料中的应用[J].饲料工业,2010,31(6):31–33.

[3] COTTRELL R C.Introduction:nutritional aspects of palm oil[J].American Journal Clinical Nutrition,1991,53(Suppl.4):989S–1009S.

[4] 韩雨哲,姜志强,任同军,等.氧化鱼油与棕榈油对花鲈肝脏抗氧化酶及组织结构的影响[J].中国水产科学,2010,17(4):798–806.

[5] NG W K,LIM P K,BOEY P L.Dietary lipid and palm oil source affects growth,fatty acid composition and muscle α-tocopherol concentration of African catfish,*Clarias gariepinus*[J].Aquaculture,2003,215(1/2/3/4):229–243.

[6] BELL J G,MCEVOY L A,ESTEVEZ A,et al.Optimising lipid nutrition in first-feeding flatfish larvae[J].Aquaculture,2003,227(1/2/3/4):211–220.

[7] FONSECA-MADRIGAL J,KARALAZOS V,CAMPBELL P J,et al.Influence of dietary palm oil on growth,tissue fatty acid compositions,and fatty acid metabolism in liver and intestine in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J].Aquaculture Nutrition,2005,11(4):241–250.

[8] RICHARD N,MOURENTE G,KAUSHIK S,et al.Replacement of a large portion of fish oil by vegetable oils does not affect lipogenesis,lipid transport and tissue lipid uptake in European seabass (*Dicentrarchus labrax* L.)[J].Aquaculture.2006,261(3):1077–1087.

[9] 程民杰.棕榈油替代鱼油对半滑舌鳎生长、生理生化和肌肉营养品质影响的研究[D].硕士学位论文.天津:天津农学院,2014:39–62.

[10] 刘穗华,曹俊明,黄燕华,等.饲料中不同亚麻酸/亚油酸比对凡纳滨对虾幼虾生长性能和脂肪酸组成的影响[J].动物营养学报,2010,22(5):1413–1421.

[11] 宋益贞,过世东,牛化欣.不同脂肪源对吉富罗非鱼生长和饲料利用的影响[J].江苏农业科学,2012,40(3):200–202.

[12] BAHURMIZ O M,NG W K.Effects of dietary palm oil source on growth,tissue fatty acid composition and nutrient digestibility of red hybrid tilapia,*Oreochromis* sp.,raised from stocking to marketable size[J].Aquaculture,2007,262(2/3/4):382–392.

[13] LIM P K,BOEY P L,NG W K.Dietary palm oil level affects growth performance,protein retention and tissue vitamin E concentration of African catfish,*Clarias gariepinus*[J].Aquaculture,2001,202(1/2):101–112.

[14] 李志华,付京花,唐雪莲,等.维生素 E 在罗非鱼幼鱼饲料中的应用及耐受性研究[J].动物营养学报,2013,25(7):1648–1655.

[15] GAO J,KOSHIO S,ISHIKAWA M,et al.Effects of dietary palm oil supplements with oxidized and non-oxidized fish oil on growth performances and fatty acid compositions of juvenile Japanese sea bass,*Lateolabrax japonicus*[J].Aquaculture,2012,324/325:97–103.

[16] NG W K,WANG Y,KETCHIMENIN P,et al.Replacement of dietary fish oil with palm fatty acid distillate elevates tocopherol and tocotrienol concentrations and increases oxidative stability in the muscle of African catfish,*Clarias gariepinus*[J].Aquaculture,2004,233(1/2/3/4):423–437.

[17] 雍文岳.尼罗罗非鱼营养需要量[J].淡水渔业,1994,24(5):22–24.

[18] 曹俊明,严晶,黄燕华,等.家蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾生长、抗氧化和免疫指标的影响[J].水产学报,2012,36(4):529–537.

[19] 张立坚,杨会邦,张俊杰,等.罗非鱼不同组织脂肪酸含量的分析[J].淡水渔业,2010,40(2):36–40.

[20] TORSTESEN B E,LIE Ø,FRØYLAND L.Lipid metabolism and tissue composition in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)—Effects of capelin oil,palm oil,and oleic acid-enriched sunflower oil as dietary lipid sources[J].Lipids,2000,35(6):653–664.

Effects of Soybean Oil Replacement by Palm Oil on Growth Performance, Muscle Composition and Serum Biochemical Indexes of Juvenile Genetically Improved Farmed Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

WEN Yuanhong MI Haifeng* ZHANG Lu* LIU Huifen WANG Yongli LIU Xuebing XUE Chunyu DENG Zhiting

(*Institute of Fisheries Research*, *Tongwei Co., Ltd.*, *Chengdu* 610039, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of soybean oil replacement by palm oil on growth performance, muscle composition and serum biochemical indexes of juvenile genetically improved farmed tilapia (GIFT) (*Oreochromis nilotics*). A total of 600 juvenile GIFT with an initial body weight about 8.80 g were randomly divided into 5 groups with 3 replicates per group and 40 fish per replicate, and fed with their respective diet from the five isonitrogenous (31.60%) and isolipids (9.30%) diets, which replacing 0 (G0, as control), 25% (G25), 50% (G50), 75% (G75) and 100% (G100) soybean oil with palm oil on a basal diet. The experiment lasted for 56 days. The results showed as follows: 1)

there was no significant difference in final body weight, weight gain rate, specific growth rate, feed conversion rate and survival rate among all groups ($P>0.05$). 2) Compared with the group G0, there were no significant difference in condition factor, viscerosomtic index, hepatosmatic index and the contents of moisture, crude protein, ether extract and ash in muscle between the palm oil groups (groups G25, G50, G75 and G100) ($P>0.05$), but the muscle ether extract content in group G50 was significantly higher than that in group G100 ($P<0.05$). 3) No significant differences were found among all groups in serum cholesterol, triglyceride, low density lipoprotein cholesterol and total protein contents with increasing palm oil replacement proportion in diets ($P>0.05$). Serum high density lipoprotein cholesterol content in groups G50 and G100, glutamic-pyruvic transaminase activity in groups G25 to G50 and glutamic-oxalacetic transaminase activity in groups G50 to G75 were significantly decreased compared with the group G0 ($P<0.05$). The results indicate that soybean oil can be replaced by palm oil completely in juvenile GIFT diets with the growth performance as the evaluation index. However, significantly differences are observed in muscle ether extract content and some serum biochemical indexes when replacement proportion is above 50%.

Key words: GIFT （*Orechromis nilotics*）; soybean oil; palm oil; growth performance; muscle composition; serum biochemical indexes

---

* Corresponding authors: MI Haifeng, E-mail: mihf@tongwei.com; ZHANG Lu, senior engineer, E-mail: zhangl21@tongwei.com

（责任编辑　菅景颖）